

道路橋梁群の維持管理コスト平準化と健全性向上を目的としたGAの適用

京都大学 正会員 博士 (工学) ○服部 篤史
 京都大学 修士 (工学) 松倉 敏寛
 京都大学 博士 (工学) 石川 敏之
 京都大学 博士 (工学) 河野 広隆

1. はじめに

既設構造物群の維持管理では、年度コストの平準化が重要である。現在のところ、「平準化」という計画における操作があるというよりは、予算を上限とし、構造物の優先度に基づき順次、できるかぎり維持管理の行為を執行するという形で計画されることが多い。ある年度に予算が足りなければ、先送りとなる。構造物群に対する維持管理計画が策定され実施され始めたばかりの現時点では、多くの構造物が初期に対策を必要とし、初期破綻の傾向となるためである。しかし今後、維持管理がある程度は順調に進みだせば、山くずしに基づく方法¹⁾(図-1)、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) に基づく方法²⁾、予防保全率を用いる方法³⁾、修繕効率を用いる方法⁴⁾などにより、維持管理の行為の実施内容や時期を効率的・システマチックに計画され、年度コストの平準化が進められる可能性がある。一方、そのような平準化の操作に際しても、構造物群の健全性が低下することはできるかぎり避けなければならない。したがって、平準化の目的は複数となる。

本研究では、小規模な仮想の既設道路橋梁群を対象とし、平準化においてこのような複数の目的を最適化するために、多目的 GA の一手法である重み付け法の適用を試みた。ここでは、年度コストのバラツキの低減に加え、橋梁群の平均的な健全性の向上を同時に目的とし、両者を重みにより統合することによって一つの目的のように取り扱う手法を検討した。

2. 対象橋梁群と LCC の算定¹⁾⁵⁾

コンクリート製、鋼製の道路橋で構成される道路橋梁群 (30 橋 50 径間) を仮定し、対象部材を主桁、床版、支承に限定した。環境条件は、飛来塩分の影響を受け劣化の速い海岸部、および劣化が比較的穏やかに進む平野部の 2 種類とした。LCC は、対象部材や対策工法の種類・材料、環境条件 (劣化機構)、健全度に応じた劣化曲線 (曲線形状、耐久年) や対策工法・回復ランクを与えることで、使い捨て型、対症療法型、危機管理型という 3 種

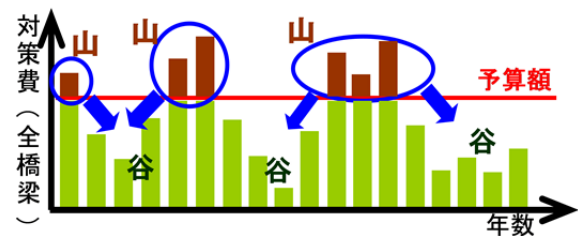


図-1 山くずしによる平準化

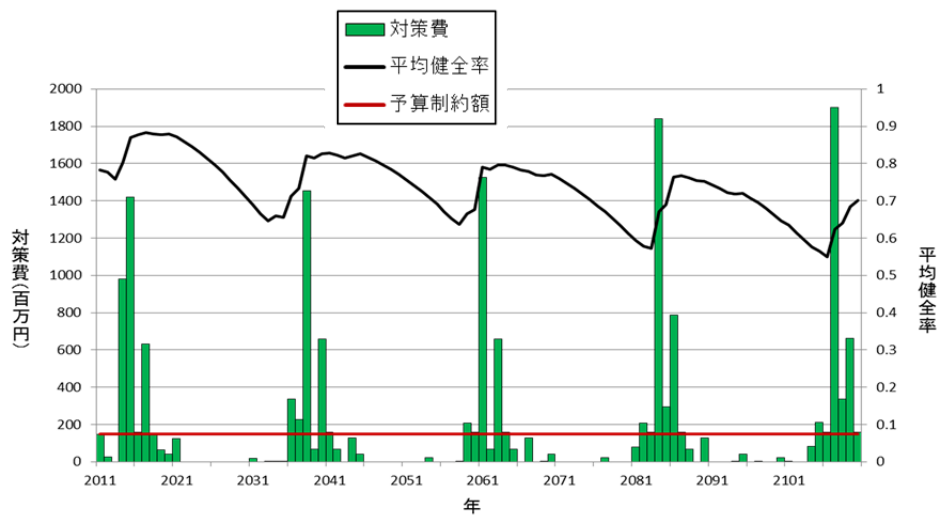


図-2 年度コストおよび平均健全率 (海岸部)

類の対策シナリオについて算定した。算定期間は 100 年とした。部材の劣化進展および補修対策の効果が利用者への便益の差として表れにくく対象期間を通じてほぼ一定と仮定できると考え、社会的割引率は用いていない。

計算の結果、危機管理型の対策シナリオで LCC が最小となった。危機管理型は、変状の小さい段階で効果の大きい長寿命化工法で対策しておき後の発生費用を抑える、予防保全型の対策シナリオである。この場合の年度コストの例を図-2 に示す。図中の予算制約額は、橋梁群の総 LCC の年平均額とした。また平均健全率は、橋梁群全体の健全性を表すものであり、部材や径間の健全率をもとに重み係数や面積により下式のように加重平均して求めることとした。

$$\text{各径間の健全率} = \frac{\Sigma(\text{部材の健全率} \times \text{部材の重み係数})}{\Sigma(\text{部材の重み係数})} \qquad \text{平均健全率} = \frac{\Sigma(\text{径間の健全率} \times \text{径間の面積})}{\Sigma(\text{径間の面積})}$$

3. GA に基づく重み付け法の適用による多目的最適化

GA は発見的 (ヒューリスティック) な手法であり、特別な解 (局所解) に陥りにくく、相対的により良い解、そして準最適解を短時間で発見可能とされる。また、ある程度の世代数まで計算することで、おおよそ同じ結果が得られる。

本研究では、2. で得られた LCC 最小の計画をベースにし、対策の実施時期を変更する山くずしによる平準化において、その変更を最適化するために、GA を適用することとした。対策の実施時期の変更は前倒し 5 年～先送り 2 年以内とし、この変更幅は小さいと考え、対策内容は変化しない (= 対策費は変化しない) ものとした。計算の概要は以下のとおりである。

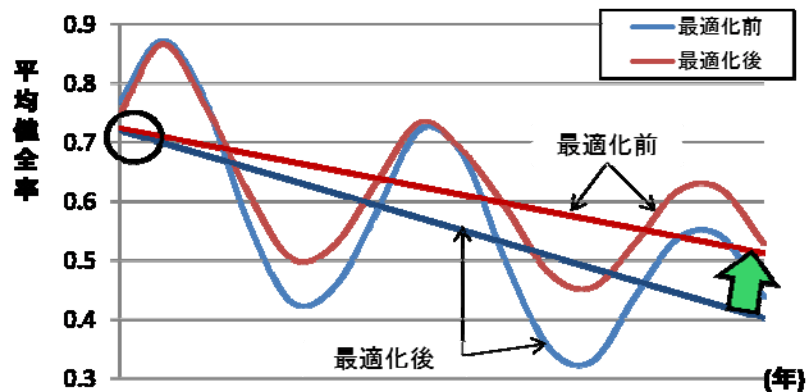


図-3 平均健全率の経年変化改善のイメージ

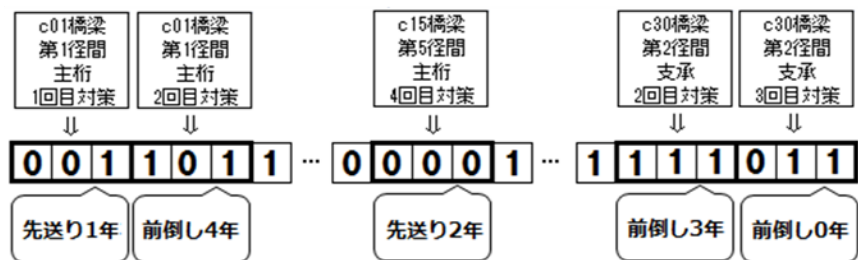


図-4 遺伝子表現

3.1 最適化する目的関数

(1) 平準化指標 σ_b

予算制約額に対する年度コストのバラツキの大きさを表す平準化指標 σ_b を目的関数とし、最小化を目指すものとした。平準化指標は下式で得られる値であり、予算制約額に対する年度コストの変動係数に相当する。 σ_b が 1.0 に近づくほど平準化達成度が高く、バラツキが小さい。

$$\sigma_b = \frac{BA + \sigma_a}{BA} \qquad \text{ここに、} BA : \text{予算制約額, } \sigma_a = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}{n}} : \text{平準化指数, } n : \text{算定期間, } \sigma_i : i \text{年の年度コスト} - BA$$

(2) 平均健全率の経年変化に対する回帰直線の傾き

平均健全率の経年変化を回帰直線で表した時の傾きを目的関数とし、**図-3** に示すように最大化を目指すものとした。

3.2 遺伝子への表現

遺伝子は、一般的な 0 と 1 による 2 進数で表現することとした。ただし、通常の 2 進コードではなく、隣接値との差が 1 ビットのみのため最適解への探索で問題が生じにくい Gray コードを用いた。この遺伝子に、**図-4** に示すように「どの橋梁、径間、部材の何回目の対策において何年前倒しまたは先送りするのか」のみに関する情報を盛り込んだ。その結果、対象期間内での全部材に対する対策実施数と、実施時期の変更幅が 8 年すなわち変更種類が 8 種類であり 3 ビットで表せることから、これらに乗じて遺伝子長は 1248 ビットとなった。このように、短い遺伝子長に最低限の情報を盛り込み無駄のない遺伝子構造としたことで、より少ない計算量で効率的に準最適解を得ることが可能になった。

3.3 GA のパラメータと目的関数への重み付け

個体数は 100 個とした。世代数は、適応度（個体間の標準偏差）の変化がおおむね見られなくなる 2000 世代とした。さらに文献⁹⁾を参考に、交叉（遺伝子の 2 か所で切断して入れ替える 2 点交叉とし、交叉の確率は試行錯誤によった）、突然変異の確率（遺伝子長の逆数とした）、淘汰・選択方式（サイズ 2 のトーナメント方式とした）に関する GA のパラメータを定めた。これらのパラメータは試行錯誤により定めたものも多く、必ずしも最善というわけではない。

3.1 で示した二つの目的関数は、下式に示すように重み値 0~1 を乗じて合算し合成の目的関数 f とした。重み値は 1 に近づくほど平準化指標への重みが大きくなり、1 の時に平準化指標のみを対象とする単目的 GA となる。ここで、 f_1 と f_2 は値のオーダーが異なることが問題となる。そこで、世代経過後の収束に近い段階でほぼ同値となる方針で、値を換算することとした。

$$f = f_1 \times w + f_2 \times (1 - w)$$

ここに、 w : 重み値, f_1 : 平準化指標, f_2 : 平均健全率の経年変化に対する回帰直線の傾き

4. 計算結果および考察

4.1 平均健全率の経年変化に対する回帰直線の切片

回帰直線の切片は、計算開始年での平均健全率の値に固定することも考えられる。しかし、対策内容を変化させない条件のため、切片固定では 3.1 (2) に記したように傾きを変化させ平均健全率の値を対象期間内で全体的に向上させることは困難であった。そこで、傾きを最大化する際に、切片を固定しないこととした。

4.2 最適な重み値の検討

重み値を、1, 0.8, 0.5 および 0.3 の 4 種類に変化させて計算を行った。

図-5 に示すように、海岸部では重み値 0.8, 0.5 で右下角に接近し、0.8→0.5 の変化で回帰直線の傾きが増加するが平準化指標も増加している。したがって、これら 2 値付近が最適解の候補となる。**図-6** に示すように、平野部では重み値 1, 0.8 で右下角に接近している。また**図-8** に示すように、重み値 1→0.8 での回帰直線の傾きの増加は 2080 年~2090 年付近の平均健全率の増加に起因することがわかる。

これらより、両地域においては、用いた重み値の中では 0.8 が最適であると判断される。ただし、**図-7** に示すように、海岸部では重み値 0.8→0.5 での回帰直線の傾きの増加は計算開始年である 2010 年直後の平均健全率の低下によるものとみられ、必ずしも好ましいものではない。

5. まとめ

本研究では、海岸部、平野部の 2 地域の小規模な仮想の既設道路橋梁群を対象とし、GA に基づく重み付

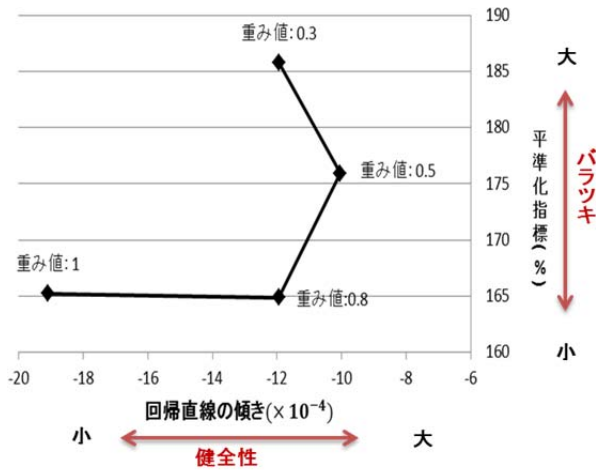


図-5 パレート最適解 (海岸部)

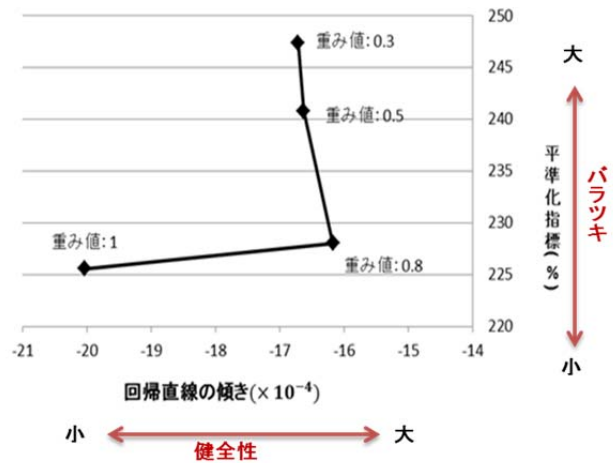


図-6 パレート最適解 (平野部)

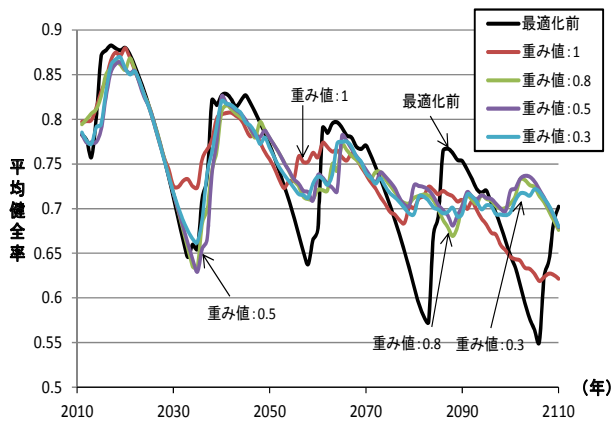


図-7 重み値の違いと平均健全率の経年変化 (海岸部)

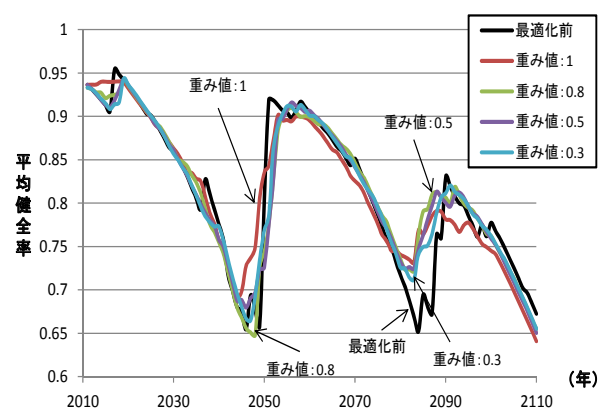


図-8 重み値の違いと平均健全率の経年変化 (平野部)

け法を適用することで、維持管理の年度コストのバラツキの低減と橋梁群の健全性の向上を同時に実現する最適化を目標にした。その適用手順を、目的関数の設定、遺伝子への表現、重み付けの方法、最適な重み値の選定、について例示した。計算の手法や結果は問題点を含んでいるが、一つの簡易な手法と考えている。

参考文献

- 1) (社) 建設コンサルタント協会近畿支部アセットマネジメント研究委員会：アセットマネジメントの普及を目指して，2007.7.
- 2) 古田 均， 亀田学広， 中原耕一郎：改良型遺伝的アルゴリズムによる複数橋梁の維持管理計画策定システムの実用化， 土木学会論文集 A Vol.62 No.3, pp.656-668, 2006.7.
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告 第4号 住宅・社会資本の管理運営技術の開発， 2006.1.
- 4) 中林正司， 西岡敬治， 小林潔司：阪神高速道路の維持管理の現状と課題， 土木学会論文集 F, vol.63, No.4, pp.494-505, 2007.12.
- 5) 西村昌朗， 服部篤史， 河野広隆：劣化予測式の違いが道路橋群の LCC 算定および年度コスト平準化に与える影響， コンクリート工学年次論文集， Vol.32, No.2, pp.1417-1422, 2010.7.
- 6) 伊庭斉志：遺伝的アルゴリズム， 医学出版， 2002.5.